



**Universidade Federal do Paraná**  
**Programa de Pós-Graduação Lato Sensu**  
**Engenharia Industrial 4.0**



**ALEX LOURENÇO DIAS**

**CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO: ESTUDO DE CASO EM  
UMA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO**

**CURITIBA  
2021**

ALEX LOURENÇO DIAS

**CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO: ESTUDO DE  
CASO EM UMA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA  
2021**

## **RESUMO**

A Gestão da qualidade tem o significado de fornecer o que o cliente necessita, no tempo determinado, com o nível e consistência de qualidade especificados, gerando a satisfação do cliente. Uma empresa que dá ênfase na gestão da qualidade, torna-se competitiva no mercado. Devido à concorrência no mercado a qualidade do produto pode fazer pender a balança na escolha entre fornecedores ou clientes. As Análises estatísticas do processo de produção, são utilizadas para garantir que haja uma manutenção das características do processo dentro de limites estabelecidos. A variabilidade do processo contribui na ocorrência de defeitos e prejuízo para as organizações. Este trabalho apresenta um estudo de caso da aplicação do controle estatístico de qualidade em uma indústria de fundição de peças de ferro nodular. Foram utilizadas cartas de controle para monitoramento do número de nódulos obtidos nos corpos de prova. Esta característica é de grande importância para o processo, para garantir a estabilidade e manutenção das propriedades mecânicas e qualidade dos produtos. Foi avaliada a eficiência da matéria prima utilizada para a obtenção do ferro nodular sendo fator determinante na escolha do fornecedor da mesma.

Palavras-chave: Qualidade, CEP, Processos, Fundição.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Processo de moldagem e vazamento. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 2 – Estruturas de Ferro Cinzento e Nodular.....	9
FIGURA 3 – Painel para tratamento de nodularização “Sanduíche”.....	9
FIGURA 4 – Modelo do sistema de Controle do Processo com Feedback.....	12
FIGURA 5 – Ações que podem garantir o resultado projetado. ....	13
FIGURA 6 – Fluxograma das Principais etapas do Trabalho.....	15
FIGURA 7 – Worksheet com os dados coletados da contagem de nódulos.....	16

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MODELO DE TABELA.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
----------------------------------	--------------------------------------

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Teores de Carbono e Silício dos Aços e Ferros Fundidos.....	8
GRÁFICO 2 – Gráfico produção Mensal Fundições no Brasil.....	10
GRÁFICO 3 – Exemplo de Carta de Controle Minitab.....	14
GRÁFICO 3 – Exemplo de Carta de Controle Minitab.....	14
GRÁFICO 4 – Histograma com o número médio de nódulos.....	17
GRÁFICO 5 – Número de nódulos fornecedor A.....	18
GRÁFICO 6 – Número de nódulos fornecedor B.....	19
GRÁFICO 7 – Número de nódulos comparativo entre fornecedores.....	20

## CONTEÚDO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	5
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	5
1.3. JUSTIFICATIVA .....	6
1.4. HIPÓTESE .....	6
1.5. OBJETIVO .....	6
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>7</b>
2.1. FUNDIÇÃO .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2. CONTROLE ESTATÍSTICO QUALIDADE .....	11
<b>3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>15</b>
3.1. PROJETO PRELIMINAR .....	16
3.1.1. Requisitos de projeto .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 6
3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO.....	188
3.3. PROJETO DE DETALHAMENTO.....	20
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>21</b>
5.1. Sugestões de trabalhos futuros .....	21
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>22</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO**

A qualidade é fundamental para controle dos custos e sobrevivência de uma empresa no mercado, portanto existem várias iniciativas para controle e manutenção da mesma. O ideal é detectar os problemas de qualidade antes que eles afetem o cliente.

As Cartas de controle estatístico da qualidade (CEQ), são gráficos utilizados para acompanhar o comportamento de uma variável do processo por um intervalo de tempo. As cartas de controle permitem vislumbrar uma tendência do processo, que não pode ser visualizada através de outras ferramentas estatísticas.

Variáveis podem ser classificadas como comuns e especiais. A Variação de causa comum é devido à variação natural do processo ou seja variação devido à forma como o processo foi projetado. A variação de causa especial é devido à causa atribuível, que pode ser atribuída à um motivo (MC CARTY, BREMER, DANIELS, GUPTA, 2004).

O objetivo deste trabalho é demonstrar como o CEP, pode auxiliar na monitoração de variáveis do processo, em uma indústria de fundição, permitindo agir preventivamente, tomando ações que venham a garantir a estabilidade dos níveis de qualidade do produto.

### **1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

Os materiais utilizados no processo de transformação dos metais na indústria de fundição, tem papel importante para a obtenção de produtos com qualidade. Com o número grande de fornecedores, de um mesmo tipo de material, que competem para fornecer materiais para as indústrias, há a necessidade de monitorar o desempenho dos mesmos dentro do processo, para verificar se os seus respectivos materiais estão atendendo as expectativas esperadas pelas indústrias.

Portanto existe a possibilidade de peça defeituosas estarem sendo geradas por materiais ou insumos que apresentem características fora de padrões confiáveis ou com variações em sua composição.

### **1.3. JUSTIFICATIVA**

A importância estratégica da qualidade do produto e do serviço vem crescendo de forma constante nos últimos anos, seu impacto nos resultados dos negócios das principais organizações, tanto fabricantes de produtos, quanto fornecedores de serviços é um fator de sucesso para estas organizações. Planejar, controlar e melhorar a qualidade dos produtos e processos seria uma tarefa “titânica”, quase impossível, sem a utilização em larga escala de métodos estatísticos. Dessa necessidade, nasce o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ), uma área contida na grande área de conhecimento denominada Gestão da Qualidade. (GOUVEIA, et al, 2018).

O Nível de Qualidade de um produto ou serviço pode ser julgado pelo cliente com base, mediante a conformidade com o conjunto de especificações ou padrões. Qualidade pode ser definida de forma subjetiva como uma comparação com um padrão ideal ou um produto similar, ou pode envolver características quantitativas ou características de um produto ou serviço. Isso é a definição tradicional do que é chamado um produto de qualidade (REARDON, 2011).

Com este trabalho, pretende-se demonstrar uma aplicação do CEP, em uma indústria de fundição, afim de avaliar o nível de qualidade do material Ferro Silício Magnésio, que é utilizado na obtenção do ferro fundido nodular.

Para isso será desenvolvido um estudo de caso analisando os números de nódulos obtidos com materiais de dois fornecedores diferentes, visando identificar o que melhor atendesse às necessidades do processo de nodularização do ferro.

### **1.4. HIPÓTESE**

Este trabalho baseia-se na busca pela identificação do impacto causado pelo Ferro Silício Magnésio, de diferentes fornecedores, na redução da variabilidade dos números de nódulos encontrados nas peças produzidas, pois quanto menor for o número de nódulos, maior será a possibilidade de defeitos internos nas peças e redução das propriedades mecânicas destas.

### **1.5. OBJETIVO**

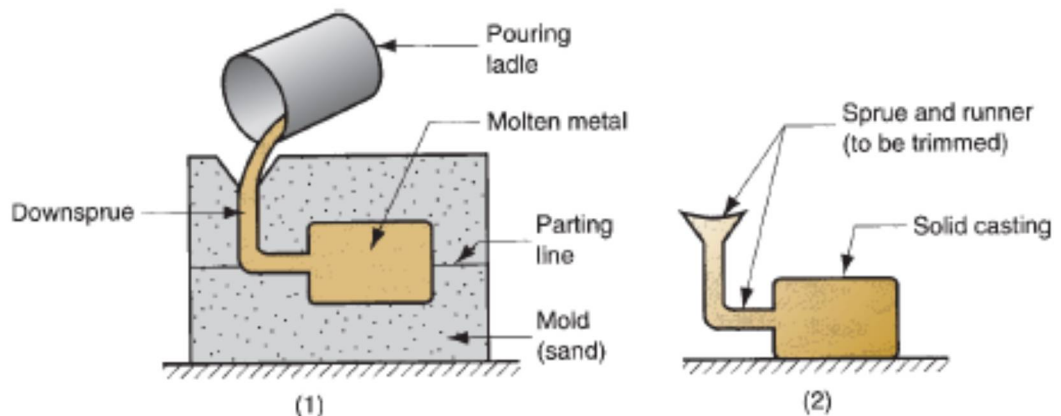
Este trabalho baseia-se na demonstração da importância do Controle Estatístico do Processo na identificação das variações ocorridas no processo, que geram prejuízo para as indústrias.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FUNDIÇÃO

A Fundição é o processo de conformação mecânica que consiste na fusão do metal ou da liga metálica em fornos próprios e o posterior vazamento do metal líquido em moldes, cuja forma e dimensões interna é a mesma da peça a ser produzida (FIGURA 1). O processo de fundição pode ser considerado como o melhor caminho entre a matéria prima e o bem produzido.

FIGURA 1 – Processo de moldagem e vazamento



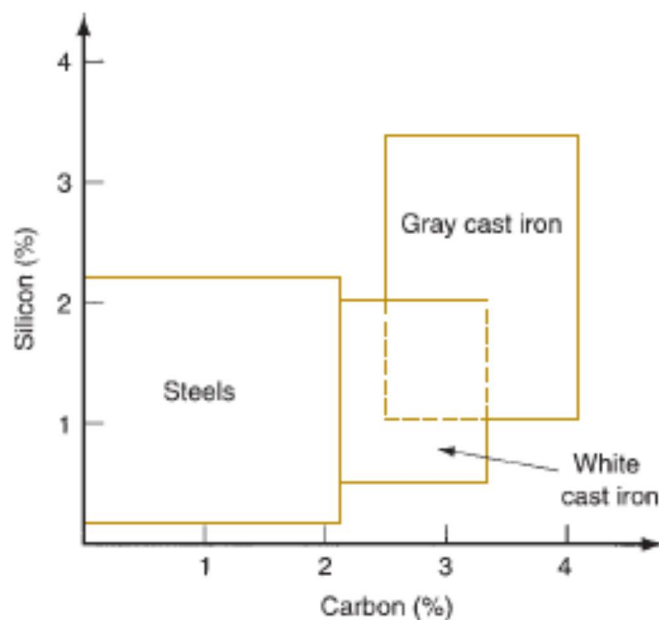
FONTE: GROOVER, 2013

Como sabemos os metais apresentam no estado sólido um arranjo cristalino onde os átomos se encontram ordenados. Já no metal líquido estes átomos se encontram menos ordenados e em maior grau de agitação que no estado sólido. Porém este resfriamento até o estado sólido não é tão instantâneo assim e alguns fenômenos começam a ocorrer. Primeiro há somente a redução de temperatura do metal, ainda no estado líquido, sem que haja a formação de outras fases. Em um determinado momento, no meio líquido alguns átomos começam a disporem-se de modo ordenado, semelhante àquela disposição encontrada nos sólidos, mesmo a temperaturas acima daquela de fusão. Estes agrupamentos atômicos ordenados são chamados de embriões. Estes embriões formam-se e se desfazem dentro do líquido constantemente, sua existência depende do seu tamanho (raio crítico) e da temperatura do líquido.



Quanto maior o tamanho do embrião e menor a temperatura do metal, maior será a sua tendência à “sobrevivência”. A medida que a temperatura do metal líquido diminui o embrião pode tornar-se mais estável formando os chamados núcleos de solidificação, que por sua vez darão origem aos cristais da fase sólida do material. Isto é chamado nucleação. Os ferros fundidos são classificados de acordo com a norma brasileira ABNT, NBR 6215/82 em cinzento (ou grafita lamelar), nodular (ou grafita esferoidal), vermicular, branco, mesclado, maleável de núcleo preto e maleável de núcleo branco. O Ferro fundido cinzento é aquele que apresenta em sua microestrutura bruta de fusão a grafita sob a forma de lamelas ou veios. Daí o nome de ferro fundido de grafita lamelar. Sua composição química varia de 2,5 a 4,0% de Carbono e 1,0 a 3,0% de Silício (FIGURA 2).

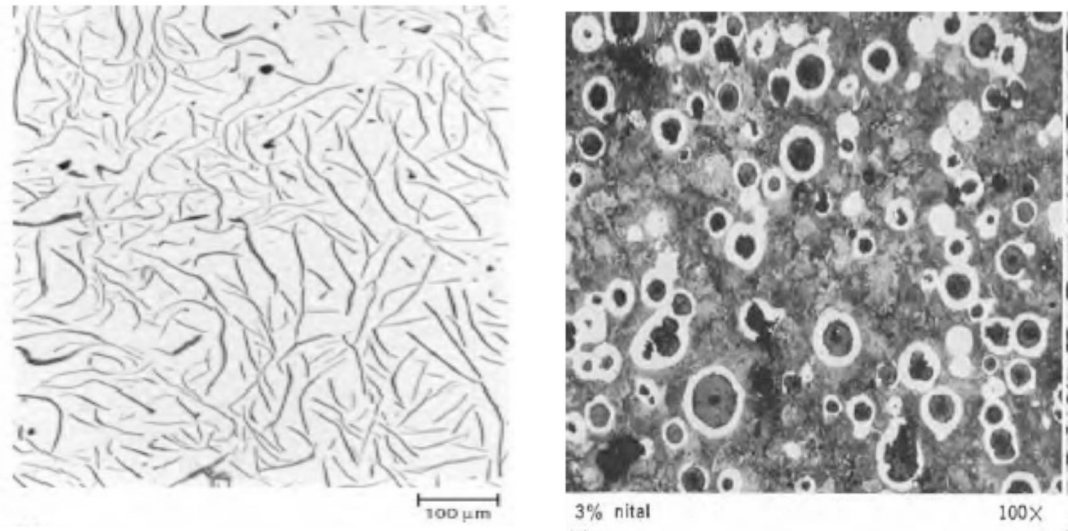
GRÁFICO 1 – Teores de Carbono e Silício dos Aços e Ferros Fundidos



FONTE: GROOVER, 2013

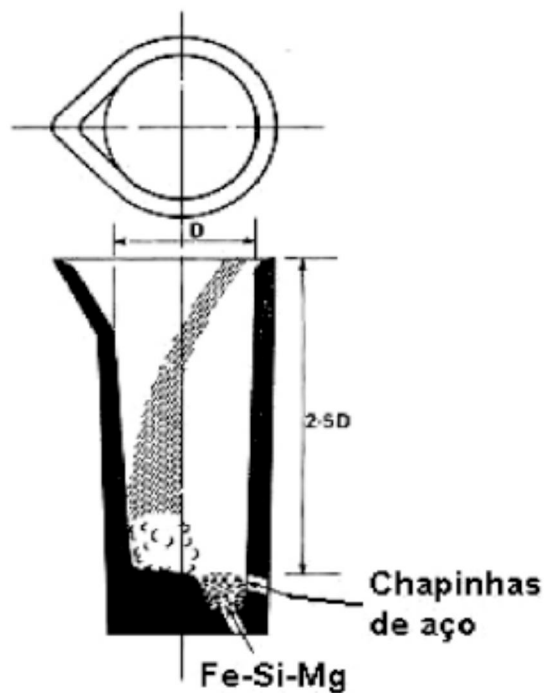
A Elaboração do ferro fundido nodular (nodularização), consiste na introdução, no banho de um elemento capaz de garantir a formação da grafita e o seu crescimento sob a forma de esferoides (FIGURA 3). Muitos elementos, combinados ou não, conseguem tal feito, mas é comum na maioria das empresas a utilização do magnésio, como elemento nodularizante (FIGURA 4), sob a forma de FeSiMg (FONSECA 2005).

FIGURA 2 – Estruturas de Ferro Cinzento e Nodular



FONTE: REARDON, 2011

FIGURA 3 – Panela para tratamento de nodularização “Sanduíche”



FONTE: SILVA, 2005

Segundo a ABIFA, Associação Brasileira das Indústrias de Fundição, no mês de Maio, a indústria de fundição voltou a crescer no comparativo mensal, após uma

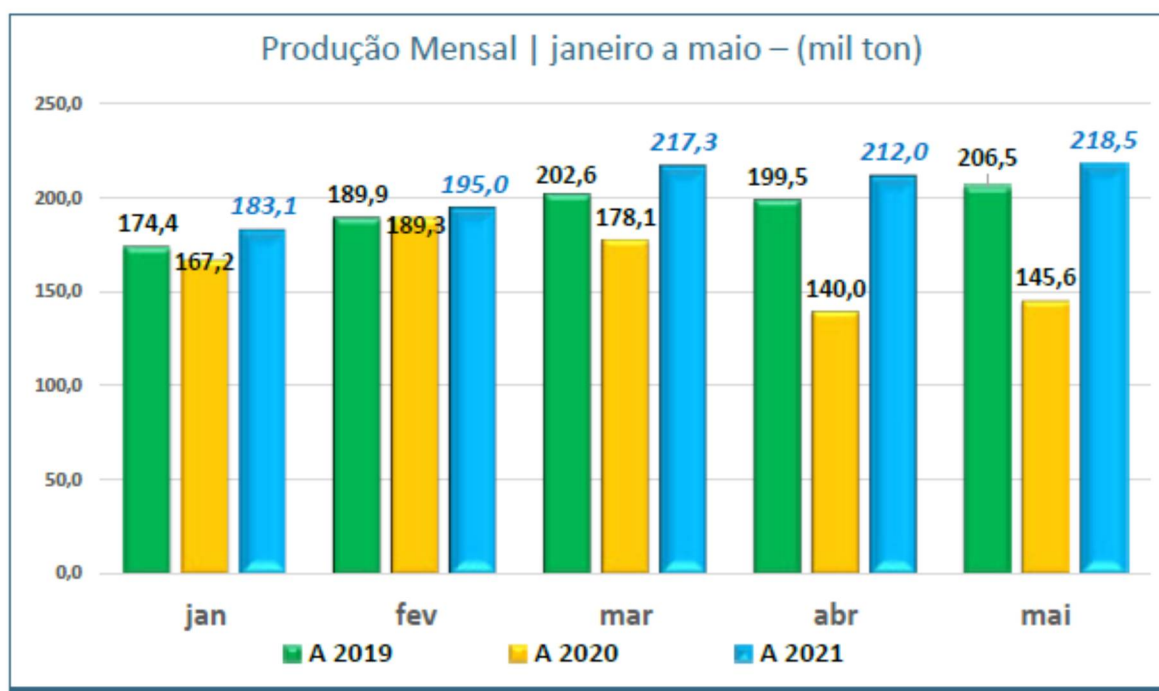
pequena queda em abril (-2,4%). No total, foram 218.470 toneladas fundidas, entre ferro fundido, aço e metais não ferrosos, configurando uma alta de +3,1% em relação ao mês imediatamente anterior.

No acumulado do ano de janeiro a maio, 1,02 milhão de toneladas de peças fundidas foram produzidas no país, o que equivale a um crescimento de +25,1%, em relação ao mesmo período de 2020.

No entanto, há de se considerar que 2020 foi um ano “atípico”, em razão de todos os efeitos da pandemia da COVID-19, na economia brasileira. Comparativo com 2019, quando o setor de fundição vinha registrando crescimento consistente desde a crise de 2016.

Em 2019, de janeiro a maio, a indústria de fundição produziu 972.932 toneladas, de modo que no comparativo com 2021, observamos no atual exercício um crescimento de +5,5%, o que nos permite afirmar que a retomada do segmento segue em curso ascendente.

GRÁFICO 2 – Gráfico produção Mensal Fundições no Brasil



FONTE: ABIFA, 2021

Do total produzido em maio, 188.136 toneladas foram consumidas no mercado interno, o que equivale a aproximadamente 86%. Esta demanda é puxada pelo mercado

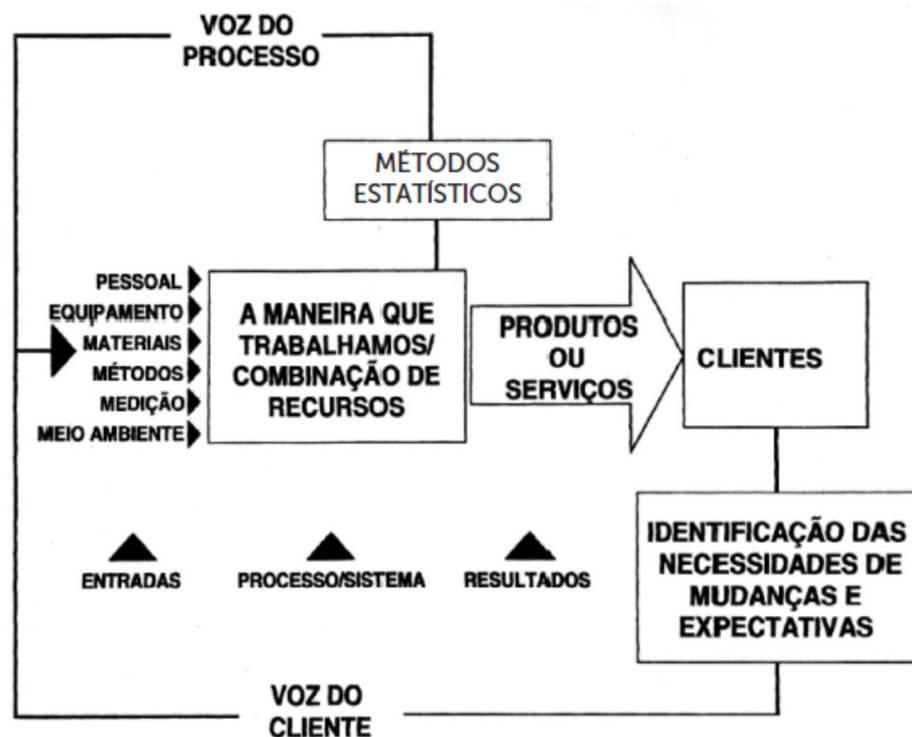
automotivo (caminhões) e segmentos relacionados ao agronegócio. O Restante (30.334 t), foi exportado. Em relação a abril/21, houve uma queda de -5% da exportações em maio. De janeiro a maio de 2021, a indústria de fundição exportou 145.934 t. Neste mesmo período em 2020 e 2019, os embarques do setor totalizaram 103.272 t (+41,3%) e 152.168 t (-4,1%).

## **2.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE (CEQ)**

Para que possamos compreender os aspectos gerais do CEQ na atualidade é importante voltarmos até a década de 1930. Iniciamos com a teoria da Administração Científica de Taylor e Fayol e evoluímos para a Escola das Relações Humanas de Elton Mayo. Durante o desenvolvimento destes cientistas muitas evoluções relevantes começam a ser observadas, notadamente o trabalho precursor no tocante à resolução de problemas referentes à qualidade de produtos e foi desenvolvido na Bell Telephone Laboratories, empresa norte-americana, parte do grupo da gigante AT&T, responsável pelo desenvolvimento de diversas tecnologias revolucionárias, como o Transistor, LED e Laser, entre outras. Faziam parte desse grupo vanguardistas Walter Shewhart - criador dos gráficos de controle – Harold Dodge, Harry Romig – idealizadores dos planos de inspeção por amostragem – e, posteriormente Joseph Duran – criador da Trilogia Juran e da aplicação do Gráfico de Pareto – W.E. Deming, responsável por inúmeras contribuições no campo da Qualidade, entre elas o reconhecimento de que a variabilidade é uma característica inerente aos processos e de que a utilização de técnicas estatísticas é necessária para controlar os processos. Qualquer operação produz bens ou serviços, ou um misto dos dois e o faz por um processo de transformação. Por transformação entende-se uso de recursos para mudar o estado ou condição de algo (input) de modo a produzir saídas esperadas (outputs). Um processo é comumente definido como uma série de atividades reproduzíveis e interativas que, em conjunto, convertem uma entrada em uma saída. Uma entrada é algo que conduz ou inicia o processo, como pessoas, recursos materiais, podendo existir entradas múltiplas. Um resultado é um produto gerado pelo processo, buscando atender à expectativa de um cliente, externo ou interno. Normalmente, uma saída é um produto, um serviço ou a entrada para outro processo dentro de uma mesma empresa. A Gestão por processo é uma revisão da sequência e interação dos processos e suas entradas e saídas. Considera-se o sistema de gerenciamento não apenas como um documento,

mas também um sistema ativo (FIGURA 5) que gerencia os riscos e os requisitos das partes interessadas. Um sistema de controle do processo deve gerar informações sobre o processo de modo que a organização possa conhecer o verdadeiro desempenho de seus processos.

FIGURA 4 – Modelo do sistema de Controle do Processo com Feedback

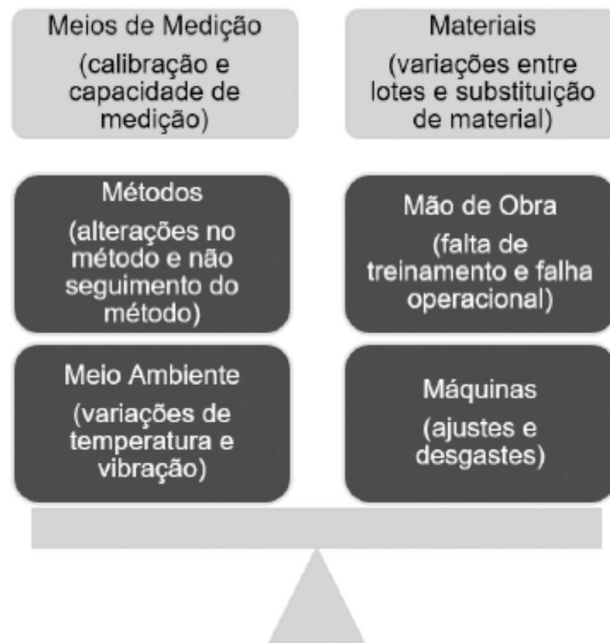


FONTE: AIAG, 2005

Um dos principais fatores para entender o desempenho de um processo está relacionado às suas variabilidades internas. A incerteza é a consequência da variabilidade de um determinado fenômeno e dificulta a tomada de decisões. O Controle do processo implementado de forma eficaz permite que a organização tome ações de melhoria ou preventivas, no tempo certo, fazendo que o processo seja corrigido ou otimizado, resultando em ganhos de qualidade, produtividade, custos e diminuição do tempo de ciclo. A ação sobre o processo é mais eficaz, mais econômica e resulta em maiores ganhos quando executada para prevenir que as características chave do processo se distanciem em relação aos seus valores alvo (FIGURA 6).

Adotando este comportamento, a organização garante que os resultados gerados pelos processos mantenham-se dentro dos limites projetados.

FIGURA 5 – Ações que podem garantir o resultado projetado



FONTE: GOUVEIA, 2018

Uma ação sobre o resultado geralmente é custosa, visto que está associada à detecção e correção do produto não conforme, não atuando sobre as causas primárias da não conformidade. A continuidade da existência de causas primárias no processo obriga a organização a inspecionar, selecionar, retrabalhar, sucatear os produtos não conformes. Esse tipo de situação deve sempre ser temporário e só será alterado quando a causa primária for identificada, a ação corretiva tomada e sua eficácia comprovada. Um processo aparentará estar sob controle quando, considerando os dados históricos, for possível prever como o processo se comportará no futuro. Nesse sentido, com a predição dentro de limites previamente calculados, significa que é possível calcular a probabilidade de que o processo estudado esteja dentro dos limites estabelecidos.

A melhor ferramenta para determinar se a variação é causada por uma causa comum ou especial é o gráfico de controle. Um gráfico de controle é um gráfico especializado. O eixo Y é a métrica de interesse e o eixo X é o tempo, ou um fator que



indica tempo, como lote ou número de execução. O gráfico de controle possui três linhas calculadas estatisticamente, uma linha central, um limite de controle superior e um limite de controle inferior. Existem muitos tipos de gráfico de controle, mas estas linhas podem ser definidas assim:

Linha Central= Média da métrica de interesse.

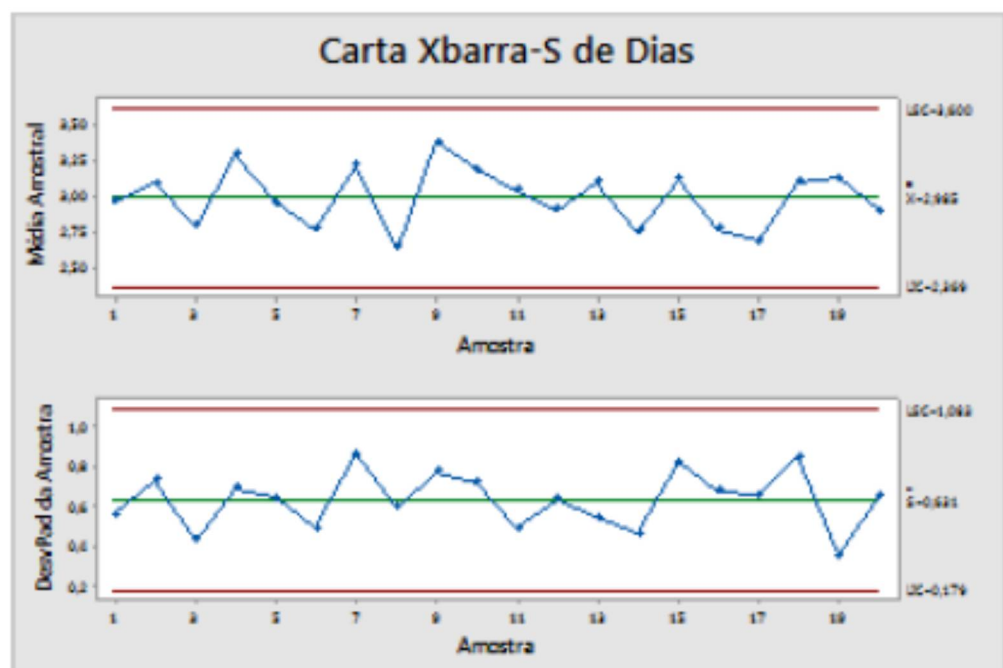
Limite Inferior de Controle= Média da métrica – 3 x o desvio padrão da métrica.

Limite Superior de Controle= Média da métrica + 3 x o desvio padrão da métrica.

A Variação de causa especial é identificada por pontos que ficam situados abaixo do limite inferior ou acima do limite superior, tendências, execuções ou quaisquer padrões incomuns. Qualquer indicação de uma causa especial deve ser investigado para ver se o processo tem mudanças. Exemplo de gráfico de com todos os pontos sob controle.

O Software Minitab oferece muitos métodos para ajudar a avaliar a qualidade de modo quantitativo e de modo qualitativo. Esses métodos incluem cartas de controle (GRÁFICO 2), ferramentas de planejamento da qualidade, avaliações dos sistemas de medição, capacidade do processo e análise de confiabilidade.

GRÁFICO 3 – Exemplo de Carta de Controle Minitab



FONTE: MINITAB, 2019

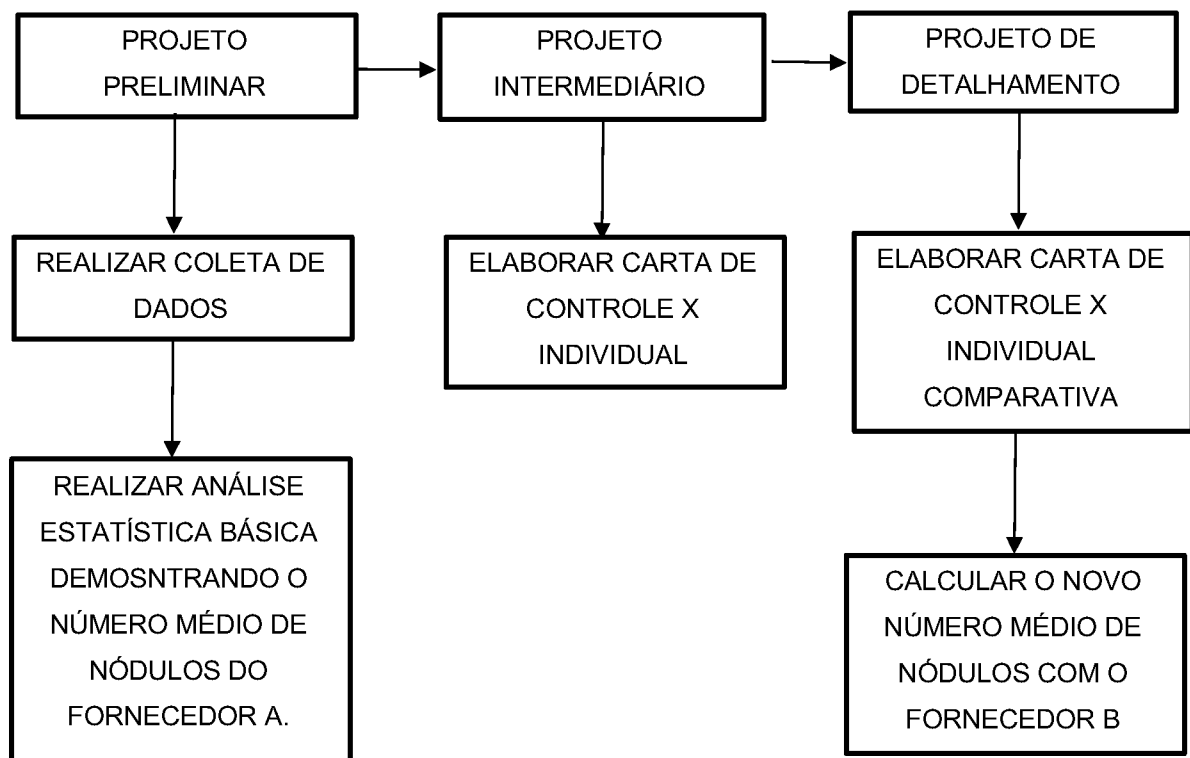
As Cartas de controle do Minitab exibem estatísticas de processo. As estatísticas do processo contém médias do subgrupo, observações individuais, estatísticas ponderadas e números de defeitos. Se um processo estiver sob controle, todos os pontos estarão localizados dentro dos limites de controle.

### 3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Com a intenção de realizar a execução da hipótese deste estudo de caso e atingir o objetivo do mesmo, foram realizadas algumas etapas para obtenção dos resultados.

Foram coletados dados referentes aos número de nódulos obtidos nas produções diárias e posteriormente foram classificados por fornecedores diferenciados. A empresa onde foi realizado este estudo de caso bem como o nome dos fornecedores de Ferro Silício Magnésio terão seus nomes mantidos em sigilo.

FIGURA 6 – Fluxograma das Principais etapas do Trabalho

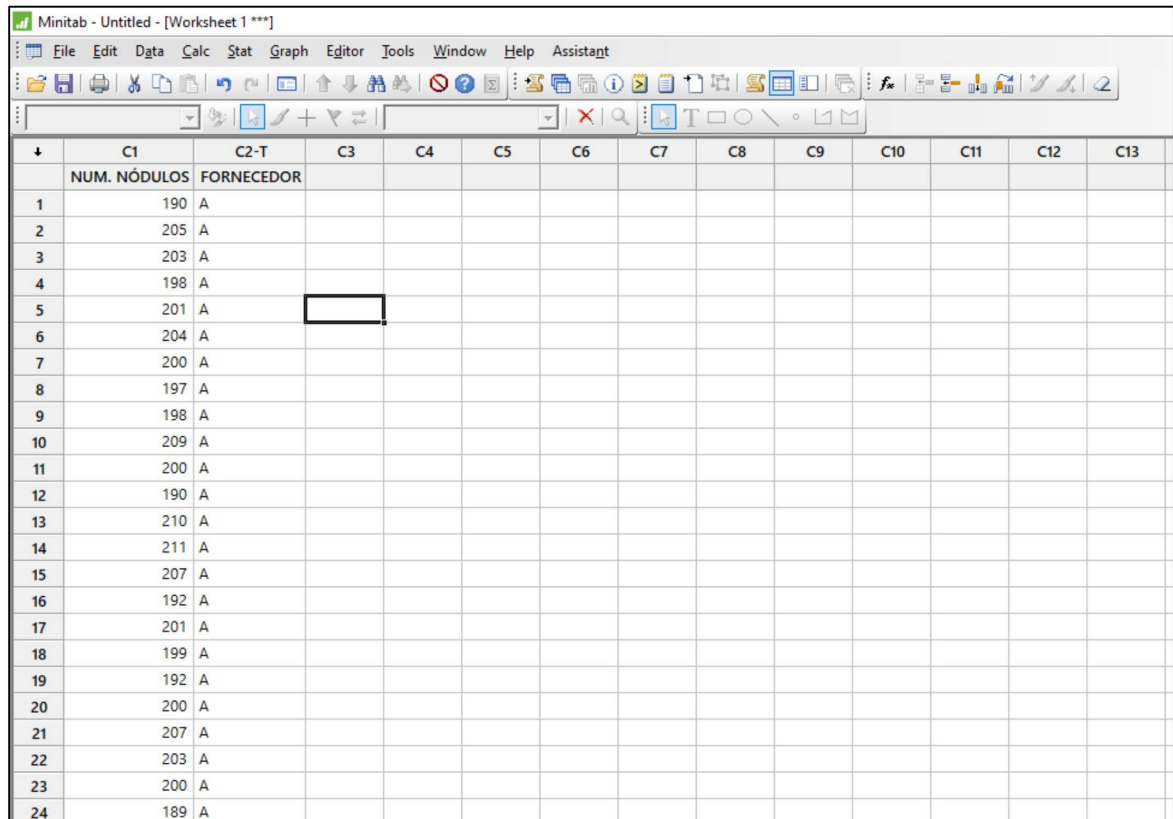


FONTE: O AUTOR, (2021)



### 3.1. PROJETO PRELIMINAR

FIGURA 7 – Worksheet com os dados coletados da contagem de nódulos



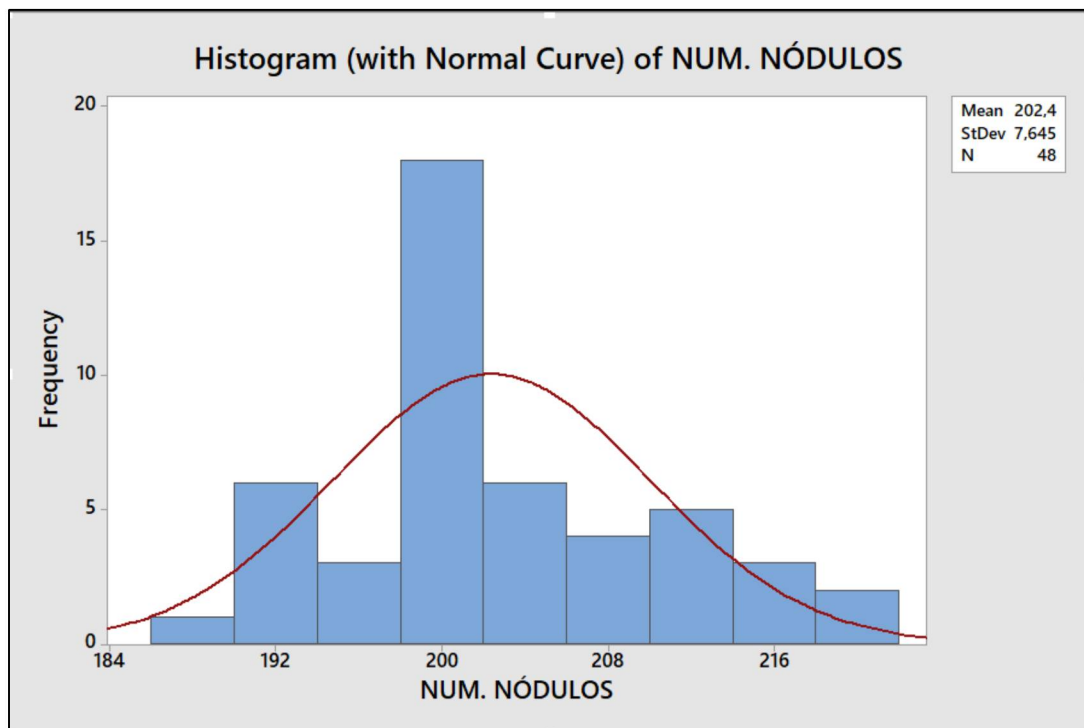
	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	NUM. NÓDULOS	FORNECEDOR											
1	190	A											
2	205	A											
3	203	A											
4	198	A											
5	201	A											
6	204	A											
7	200	A											
8	197	A											
9	198	A											
10	209	A											
11	200	A											
12	190	A											
13	210	A											
14	211	A											
15	207	A											
16	192	A											
17	201	A											
18	199	A											
19	192	A											
20	200	A											
21	207	A											
22	203	A											
23	200	A											
24	189	A											

FONTE: O AUTOR, (2021)

Nesta planilha do software Minitab, vemos os dados lançados no formato de coluna, já considerando o fornecedor de Ferro Silício Magnésio que estava em produção.

Estes dados são a resposta do processo de nodularização, tendo impacto direto na qualidade do produto, pois são diretamente proporcionais às suas propriedades mecânicas (Tração, Alongamento e Cisalhamento).

GRÁFICO 4 – Histograma com o número médio de nódulos

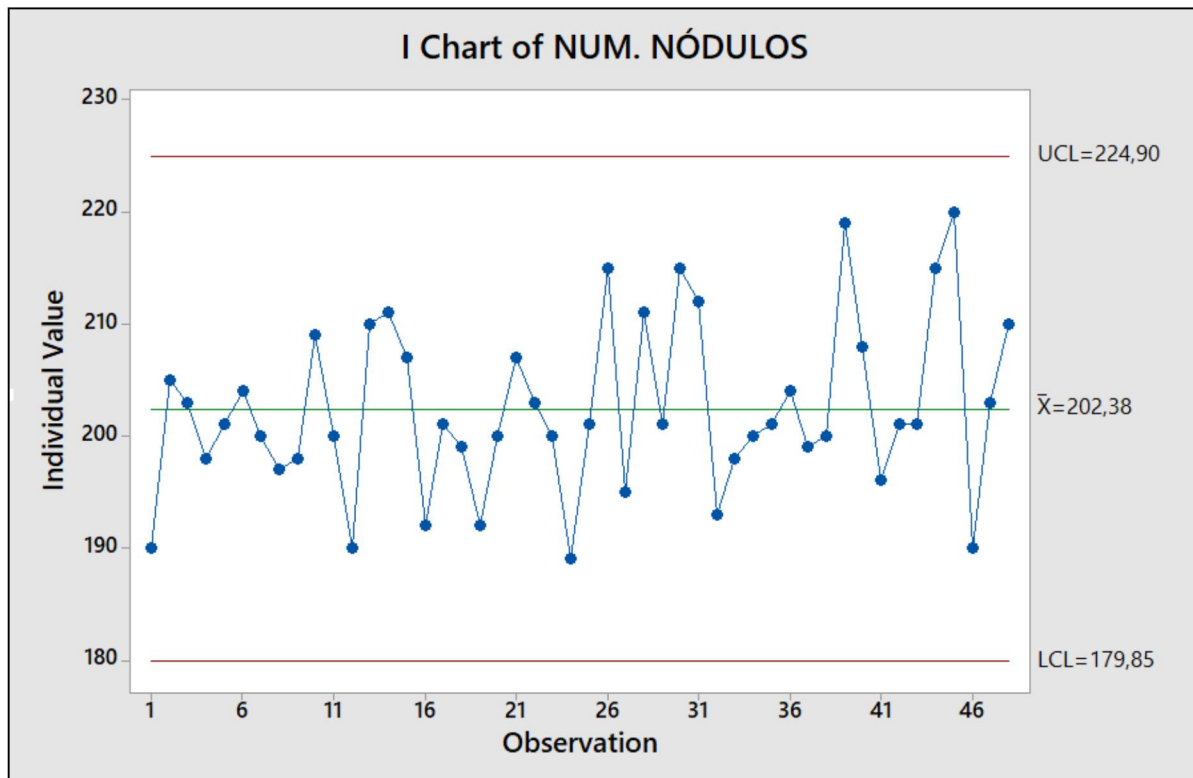


FONTE: O AUTOR, (2021)

No histograma acima vemos no canto superior à esquerda que o valor médio ficou em 202, 4 nódulos e um desvio padrão de 7,645.

### 3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO

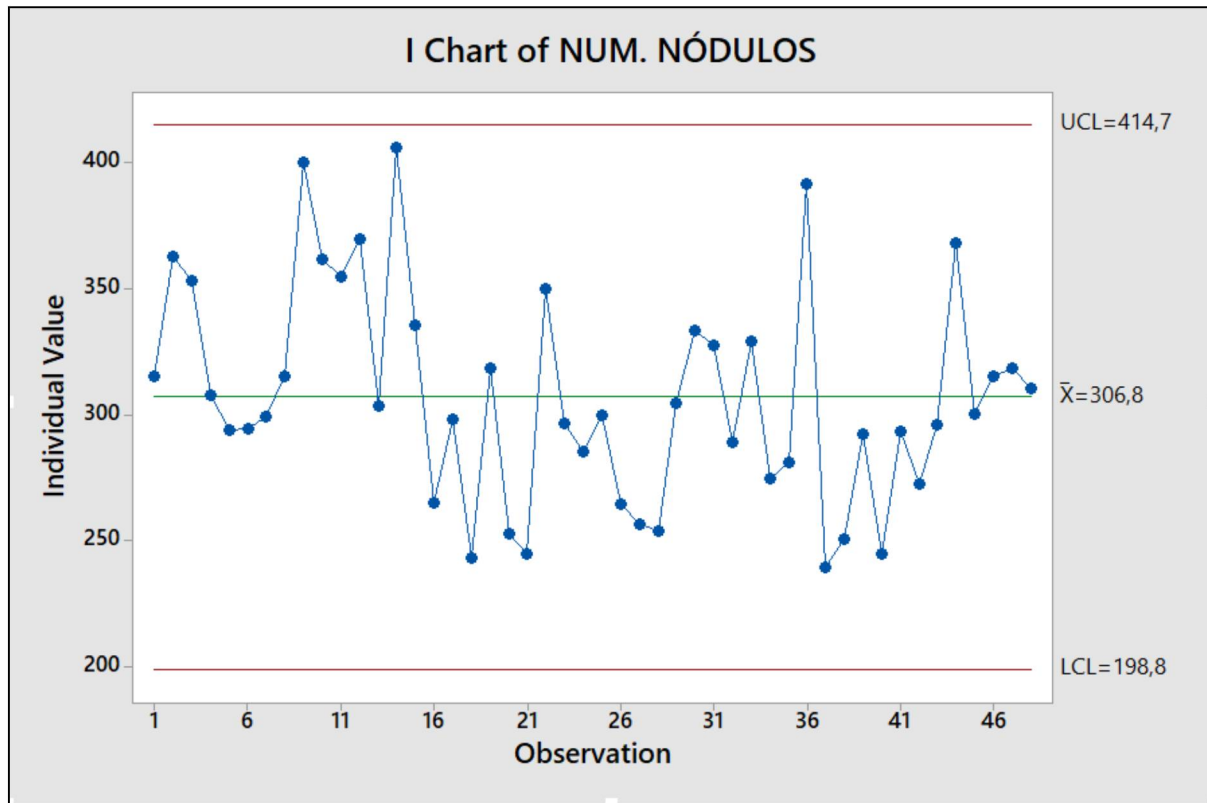
GRÁFICO 5 – Número de nódulos fornecedor A



FONTE: O AUTOR, (2021)

A frequência de tomada das amostras foi feita para que se visualize a variação dos dados obtidos durante o tempo afim de se distinguir padrões nos mesmos. Foram coletados os valores obtidos nas produções de diferentes turnos de produção.

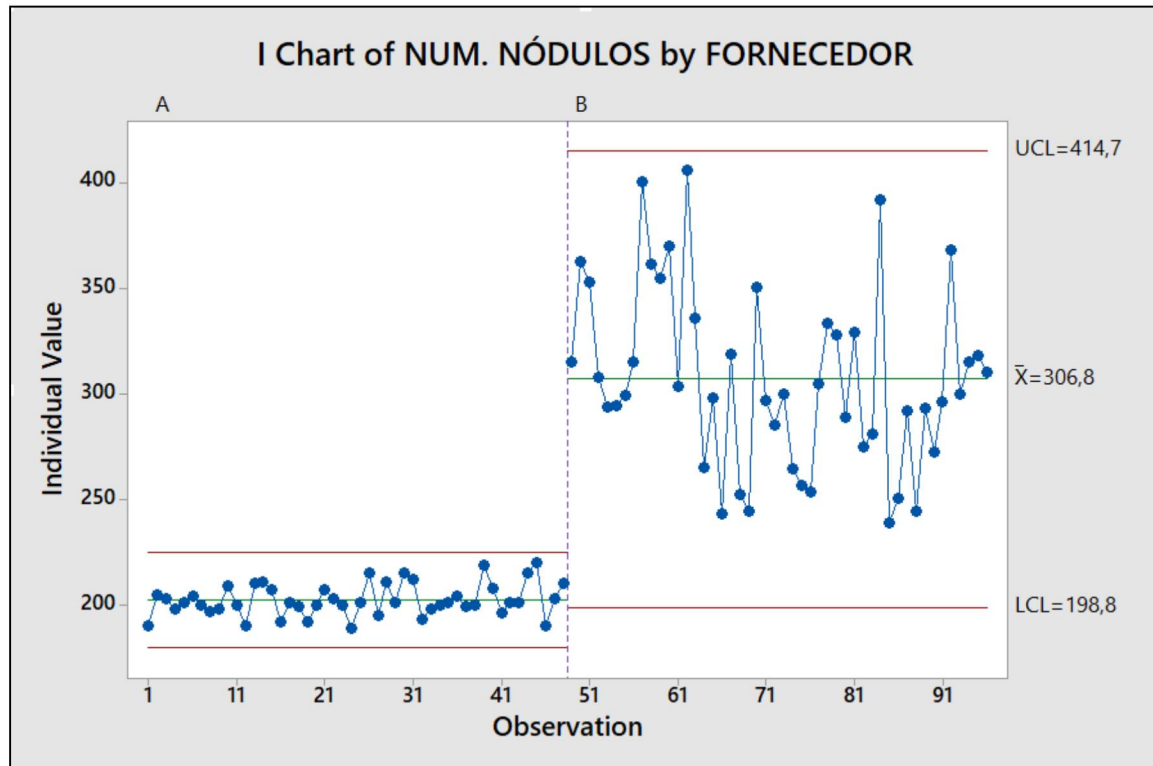
GRÁFICO 6 – Número de nódulos fornecedor B



FONTE: O AUTOR, (2021)

### 3.3. PROJETO DE DETALHAMENTO

GRÁFICO 7 – Número de nódulos comparativo entre fornecedores



FONTE: O AUTOR, (2021)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vemos que a média de número de nódulos encontrado com o ferro silício magnésio do fornecedor B, ficou em 202,38 nódulos/mm<sup>2</sup> e a média de número de nódulos encontrado com o do fornecedor B, ficou em 306,8 nódulos/mm<sup>2</sup>. Um aumento de 52% em comparação ao outro fornecedor. O Fornecedor A foi teve seu fornecimento descontinuado.

Foram mantidas todas as condições normais do processo, alterando-se apenas os fornecedores de liga, desta forma foi possível avaliar o desempenho dos mesmos no processo de nodularização.

## 5. CONCLUSÕES

Para que uma empresa, tenha sobrevivência no mercado, a mesma deve possuir fornecedores altamente qualificados, que garantirão estabilidade ao processo.

O Controle estatístico do processo, fornece a condição de monitorar o desempenho das saídas do processo “Y”, afim de agir preventivamente durante o processo.

O Controle estatístico da qualidade mostrou-se eficiente para avaliar o desempenho de dois fornecedores de material utilizado nas indústrias de fundição, que tem forte impacto na qualidade dos produtos. Sendo fator determinante na escolha de qual material ofereceria melhor qualidade.

### 5.1. Sugestões de trabalhos futuros

Trabalhar para reduzir a variabilidade encontrada no processo com a liga Ferro Silício Magnésio do fornecedor B, buscando a otimização dos resultados.

Com o resultado positivo encontrado neste estudo de caso, fica como sugestão de trabalhos futuros a utilização do software Minitab para outras características críticas do processo de fundição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA. **Revista Fundição e matérias primas**. Junho 2021. Associação Brasileira Indústrias de Fundição.

AIAG. Automotive Industry Action Group. **Análise do sistema de medição (MSA)**. 4ª edição. Editora São Paulo IQA. 2010.

FONSECA. Fonseca, Marco Túlio. **Metalurgia dos ferros fundidos cinzentos e nodulares**. Primeira Edição. Centro Tecnológico de Fundição. Marcelino Corradi. 2005.

GOUVEIA. Gouveia, Marco Aurélio da Cruz. **Controle Estatístico da Qualidade**. Editora e Distribuidora Educacional. 2018.

MC CARTY, BREMER, DANIELS, GUPTA, 2004. **The Six Sigma Black Belt Handbook**. Mackgrawnhill. 2004.

MINITAB. **Introdução ao Minitab 19**. Download do site:  
[https://www.minitab.com/content/dam/www/en/uploadedfiles/documents/getting-started/Minitab19GettingStarted\\_PT.pdf](https://www.minitab.com/content/dam/www/en/uploadedfiles/documents/getting-started/Minitab19GettingStarted_PT.pdf)

REARDON. **Metallurgy for the Non-Metallurgist**. Second edition. Asm International. 2018.

SILVA. Silva, Clênio. **Influência do número de nódulos de grafita nas propriedades do ferro fundido nodular austemperado**. 2005. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais.